

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：12612

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21120012

研究課題名(和文)環境と神経モジュールの相互作用による実時間運動指令創成のメカニズム

研究課題名(英文)Mechanisms of real-time motor command generation through interaction between environment, body and neural modules

研究代表者

阪口 豊(Sakaguchi, Yutaka)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号：40205737

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 43,100,000円、(間接経費) 12,930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳が身体性の制約の下で運動指令を生成するメカニズムの解明にむけて理論と実験を組み合わせた研究を行なった。主たる成果は、「間欠的制御」と呼ぶ運動指令生成の計算モデルを構築しヒトの振舞いを再現したこと、単一試行脳波における位相跳躍の検出手法を開発し位相跳躍と運動生成の関係を明らかにしたこと、描画課題中のサル眼球運動を解析し連続運動が複数分節に分解・実行されていることを示したこと、運動遂行中に神経情報表現が動的に変化する様相を情報量解析により明らかにしたことである。

研究成果の概要(英文)：We investigated the mechanism how our brain generates motor commands in real-time manner under the constraints of our body, neural system and environment, by theoretical and experimental studies. Four primary results have been obtained. 1) We constructed a control model named "adaptive intermittent control," and illustrated that it well explained the human behavior in a continuous motor task. 2) We developed a novel method which detected a phase shift of stationary brain wave using a single-trial EEG data and found the relationship between the occurrence of phase shift and reaction time of a simple reaction-time task. 3) We analyzed the relationship between the eye and hand movements of monkeys during a circle drawing task, and found that the monkey performed a continuous drawing task with dividing it into multiple discrete segments. 4) We clarified how the neural representation in monkey's parietal region changes on the way of visuomotor task using an information analysis technique.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：運動メカニズム 脳科学 神経生理学 計算モデル 相互作用 身体性 間欠的制御 実時間

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトが外界環境の中で生きていくためには、行動決定や運動発現に関わる脳内情報処理を環境の物理的事象と同じ時間スケールで行なうことが本質的である。すなわち、日常生活で遭遇する事象や身体の機械的応答および脳の応答がいずれも概ね数十～数百ミリ秒の時間スケールで生じるため、これらは時間的に整合し、その結果意味のある行動が達成される。

このような「運動制御における身体性」に関する研究は従来概念レベルの議論に留まり、そのメカニズムを具体的に議論するには至っていなかった。本研究課題は、計算理論と行動実験・生理実験の手法を組み合わせることにより、この問題について具体的に検討することをめざして立案したものである。

環境・身体と神経系の相互作用を介した運動制御の機序を探究するため、本研究では、連続的な運動課題を遂行する制御構造、そして、そのような制御構造が創成される過程に着目した。具体的には、運動課題を時間方向に分節し分節ごとに前向き制御を行なうことで、処理の遅い神経系と応答の遅い筋骨格系の下で連続的な運動課題を遂行する制御原理(間欠的制御仮説)をコア概念として、この仮説を実現する計算モデルを構築するとともに、分節や分節された運動指令生成に 관련된脳活動を抽出することをめざした。

## 2. 研究の目的

### (1) 間欠的制御の計算モデルと行動実験による検証

計算の遅い神経系と応答の遅い筋骨格系を用いて連続的な運動課題を実行するための制御構造として、連続的な運動を時間方向に分節し、分節した各区間で前向き制御を行なう間欠的制御の原理を定式化する。また、その原理を計算モデルとして実装して数値実験によりその振舞いを調べるほか、同一の課題を行なうヒトの振舞いと対比してモデルがヒトの運動特徴を説明できるかどうかを検証する。また、ダイナミクス理論の観点から、実時間的な運動制御における脳と環境の相互作用の機序について検討を行なう。

### (2) ヒト脳波の位相跳躍と運動生成の関係性

間欠的制御の妥当性を検証することを目的として、視覚運動変換課題実行中のヒト脳波活動を解析し、脳波活動の不連続性と運動生成の関係性を明らかにする。この目的を実現する手段として、単一試行脳波を解析して脳波の位相跳躍を抽出するアルゴリズムを開発する。

### (3) サル描画課題における連続運動の分節化

間欠的制御の妥当性を検証することを目的として、サルを用いた行動実験・電気生理実験を行なう。行動実験では、腕の動きと眼球運動の動きの関係性を解析し、連続的な腕運動課題が分節されている様相を解析する。電気生理実験では、サルの運動領野に多点電

極を埋め込んで同様の課題を行ない、運動分節に対応する神経活動の抽出をめざす。

### (4) 視覚運動変換過程における神経情報表現の動的変化

感覚情報が運動情報に変換される過程での動的な脳内情報処理の様相を明らかにすることを目的として、手操作課題中に頭頂連合野で観察された神経活動に対して情報量解析の手法を適用し、神経活動が表現する情報内容が時間的に変化する様子を解析する。

## 3. 研究の方法

### (1) 間欠的制御の計算モデルと行動実験による検証

計算モデル研究では、感覚運動系における信号伝達遅れを陽に考慮した制御モデルを構成し、モデル予測制御の枠組みを参考にして間欠的制御のアルゴリズムを定式化した。このモデルは、運動を離散的区間に分節する際に、環境に関する予測の不確実性に基づいて分節長を適応的に定めるという特長を有する。行動実験では、運動する視覚的目標を指先で追従する運動を計測する実験環境を構築し、課題遂行中の運動特徴を解析した。この解析を効率的に行なうために、運動軌道から運動不連続点を自動的に抽出するソフトウェアを新たに開発した。そして、このソフトウェアを用いて同一課題を遂行するヒトと計算モデルの振舞いを解析し、両者を対比・検証した。

また、先行制御仮説との関連性を念頭において、周期的運動におけるリズムに着目してフィードフォワード制御要素とフィードバック制御要素の関係性を検討した。具体的には、視覚的目標追従課題で観測されたヒトの手の動きの先行性が発現する条件を、ミニマムダイナミクスモデルを用いて調査した。

### (2) ヒト脳波の位相跳躍と運動生成の関係性

脳波を用いて運動生成過程を探るため、波帯域の脳波の自発活動に注目し、波帯域の自発活動の位相跳躍を単一試行の脳波データから検出する手法を開発した。

開発した手法を単純反応時間課題(視覚刺激に対するボタン押し課題)遂行時の脳波データに適用し、運動生成と脳波の位相跳躍との関係を調べた。脳波は拡張 10-20 法に基づき 30 チャンネルで計測し、そのうち FC3、C3、CP3 を左領野、FC4、C4、CP4 を右領野、P3、Pz、P4 を頭頂領野、O1、O2、Oz を後頭領野と定め、各領野での位相跳躍の有無と反応時間の関係を検討した。

### (3) サル描画課題における連続運動の分節化

CRT モニタ上で、カーソルを単一の標的を通過させる課題(ヒット課題)とカーソルで円状曲線を自発的に描画する課題を実行できるように2頭のサルを訓練し、これらの課題遂行中の手先位置と視線位置を計測した。サルは頭部を固定された状態でモンキーチェアに座り、分担研究者が開発したロボティックマニピュランダムシステムのハンドル

を操作することでモニタ上に表示されるカーソルを移動させる。また、視線位置計測システムにより視線位置を推定し、モニタ座標上でのカーソル位置と視線位置の関係性を解析した。また、これらの運動を行なっている際の大脳皮質運動野の神経活動を計測し、その情報表現を解析した。

#### (4) 視覚運動変換過程における神経情報表現の動的変化

3次元物体の手操作課題遂行中のサル頭頂AIP野の99個の神経細胞活動を解析し、細胞活動が表現する情報が課題遂行中に時間的に変化する様相を分析した。具体的には、50 ms幅の時間ビンに含まれるスパイク数と6種類の対象物体との関係を相互情報量を用いて定量化し、その時間変化を追跡した。さらに、複数の情報量の時間変化パターンに対し非負行列分解(NMF)の手法を適用し、その構造を分析した。そのうえで、これらの解析結果とAIP野の五つの細胞タイプとの関係を検討し、細胞活動の役割について考察した。

### 4. 研究成果

#### (1) 間欠的制御の計算モデルと行動実験による検証

計算モデルの研究では、モデル予測制御の枠組みを参考にして間欠的制御のモデルを構築し、そのアルゴリズムを定式化した。「制御信号を間欠的に加える」という意味での広義の間欠的制御はすでに提案されているが、本研究で構築したモデルは予測を土台として運動指令を計算し、また、予測の不確定性に基づいて分節区間長を決定する(予測が信頼できるときは分節長を長くして運動指令の設計頻度を下げる)点で特徴的で、これにより少ない計算コストで前向き運動制御を実現する。本方式の特性を検証するために、視覚的目標追従課題を例題として提案モデルの振舞いを調べ、同一課題を行なう他の制御モデルやヒトの振舞いと比較した。

図1は、正弦波状あるいは擬似ランダムに動く視標を追従するヒトの手先運動軌道の典型例を示したものである。この図から、目標の動きが連続的であっても運動軌道には不連続点が生じることがわかるが、この事実はヒトが時間的に一様な制御を行っていないことを示唆している。提案モデルについて数値実験を行なったところ、ヒトの振舞いと同等の振舞いを示すことが明らかになった。他の制御モデルについても同様の比較を

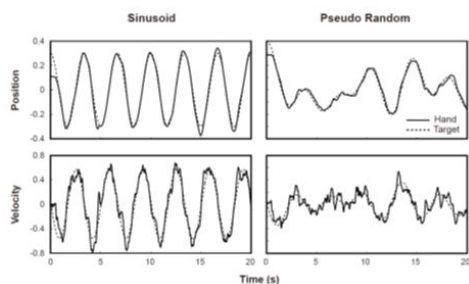


図1 ヒト運動軌道に見られる不連続性

行なったところ、フィードバック制御を土台とするモデルは、間欠的制御の考え方を導入したのも含めヒトの振舞いを再現できなかったが、フィードフォワード制御を土台とする間欠的制御モデルは提案モデルと同様にヒトの振舞いを再現できた。この結果は、到達運動のような離散的・弾道の運動だけでなく、目標追従運動のような連続的運動においても脳がフィードフォワード制御を行なっていることを示している。

本研究では、ヒトや提案モデルの運動軌道に見られる不連続点を自動的に検出するソフトウェアを複素ウェーブレット解析の手法を用いて開発した。このソフトウェアを用いて抽出した不連続点の時間間隔の頻度分布を解析したところ、提案モデルおよび他の2種類のフィードフォワード型間欠的制御の頻度分布はヒトの頻度分布とよく一致しており、これらのモデルの特性がヒトと類似していることを示している。ただし、他の間欠的制御モデルの運動指令更新間隔が0.1 s程度であったのに対し、提案モデルでは運動指令更新単位である分節長が0.1-0.5 sの範囲で適応的に決定されていた。運動計画の計算コストは運動指令更新頻度に比例して増加することから、提案モデルは低いコストで同等の制御性能を実現していることになる。

以上の検討だけでは、現実の脳の中で提案モデルと同じメカニズムが働いていることを立証することはできないが、少なくとも脳が遅い感覚運動系の下で少ない計算コスト(認知コスト)で連続的な運動課題を実現するモデルとして有効であると考えている。

一方、視覚的目標追従課題における手の動きの先行性については、数値実験により先行性が発現する条件を調査した。目標が調和振動的に運動する条件では手の運動速度に目標運動の倍の周波数成分が現れることから、誤差修正項と目標速度項から構成されるミニマムモデルにこのリズム成分を付加したモデルを構築し、誤差修正項が常に働く、誤差修正項と速度項が相補的に働く、誤差修正項と速度項が同時に働く、という3条件で数値実験を行った。その結果、運動先行性が発現するのは、手の動きに倍周波数のリズム成分が含まれ、かつ、誤差修正項(フィードバック成分)と速度項(フィードフォワード成分)が相補的に動作する場合であることが明らかになった。

#### (2) ヒト脳波の位相跳躍と運動生成の関係性

本研究ではまず、 $\beta$ 波帯域の自発活動の位相跳躍を単一試行データから検出できる手法の開発に成功した。この手法で得られた結果に基づいて、位相跳躍の有無と反応時間との関係を解析した。反応時間の分布が被験者間で異なっていたため、反応時間を標準化(Z-score化)して異なる被験者のデータを統合し、解析を行なった。ボタン押し動作の直前150 msの時間区間に位相跳躍が検出されたか否かで試行を分類し、それぞれの標準化

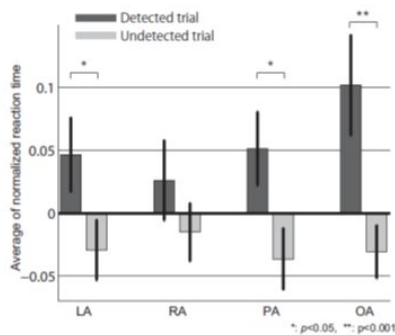


図2 標準化した平均反応時間

反応時間の平均値を計算したところ、左領野 LA、頭頂領野 PA、後頭領野 OA において位相跳躍が検出された試行では、検出されなかった試行に比べて反応時間が有意に長いことが明らかになった(図2)。

左領野 LA、右領野 RA の頭頂付近における波帯域自発活動は主に運動及び体性感覚に関連する  $\mu$  波であり、頭頂領野 PA、後頭領野 OA の後頭付近における波帯域自発活動は主に視覚に関連する  $\mu$  波であることが知られている。本研究の結果は  $\mu$  波、 $\mu$  波の位相跳躍が反応時間に影響することを示しているが、そのメカニズムを解明することが今後の課題である。

### (3) サル描画課題における連続運動の分節化

ヒット課題での固視位置を分析した結果、標的傍への固視 (LGF) とカーソル傍への固視 (CGF) の 2 種類があることが明らかになった。LGF はカーソルに対して視野角で 0.3 rad 程度先行した位置に生じることが多く、CGF はカーソルとほぼ同一位置でやや先行した位置に生じることが多かった。

描画課題においても同様に 2 種類の固視が存在し、LGF に対応する固視はカーソルに対して視野角で 0.25 rad 程度先行した位置に、CGF はカーソルとほぼ同一位置に生じることが多かった。興味深いことに、カーソルに先行する位置での固視点近傍では手先位置分散が極小値をとることがわかった。このことは、連続運動である描画課題においても実験動物が内的に経路点を設定し、分節化した運動制御を行っていることを示唆している。

大脳皮質運動野の神経活動解析では、ヒット課題遂行中のサル運動野の神経細胞の発火頻度は肩関節と肘関節各々の関節トルクと関節角速度の線形荷重和として良く近似することができ、これらの変数に対して平均して約 70 ms 先行していることが明らかになった。この結果は、皮質運動野の神経細胞は関節トルクや関節角速度といった腕の未来の状態を脊髄に出力し、運動指令としていえることができる。このことは、腕の初期状態と目標位置を入力し推定した腕の状態に基づいて運動指令を生成する最適フィードバック制御と同様の制御を脳が行なっていると考えることも無矛盾であることを意味している。

### (4) 視覚運動変換過程における神経情報表現の動的変化

AIP 野の 99 個の神経細胞活動の情報量解析により以下のことが明らかになった。

まず、複数の神経細胞の発火頻度に含まれる情報量の時間変化を 2 次元地図 (情報量マップ) として表示することにより、情報表現の時間変化を一目で俯瞰できるようになった。これにより、AIP 野の細胞タイプごとに情報量をもつ時間帯が異なることがわかり、手操作課題遂行において各タイプが果たす役割の違いを改めて確認できた。

得られた情報量の時間変化パターンに対して非負行列分解の手法を適用したところ、5 種類の基本パターンが抽出された。このことは、一見複雑に見える情報量パターンも 5 種類の基本パターンの組み合わせで記述できることを意味している。各基本パターンが情報をもつ時間帯を検討したところ、これらはそれぞれ物体形状の視覚的解析、解析した形状情報の保持、物体の形状に合わせた運動実行、つかんだ物体の触覚的・形状的理解、つかんだ物体の触覚的・形状と視覚的・形状の照合、という役割に対応していることがわかった。

このほか、本解析では以下の二つの興味深い知見を得た。一つは課題遂行中に情報表現内容を変化させる細胞の存在である。6 種類の物体から 2 種類ずつを取り出して 15 の対を作り、それらの対を識別するための情報量を解析したところ、ある細胞では、物体の視覚情報が与えられてから物体をつかむまでのあいだはプレートかどうかを区別する分類に関する情報量が大きい、物体をつかんでいるあいだは立方体かどうかを区別する分類に関する情報量が大きかった。この結果は、同一の細胞が課題実行中に情報表現の内容を変化させることを明確に示している。

もう一つは、同一の神経細胞において異なる分類に対する情報量の立ち上がり時刻が違うことである。図3はあるタイプの神経細胞について、円環 (Ring) であるか円筒 (Cylinder) であるかを区別する情報量と、円環であるか球 (Sphere) であるかを区別する情報量の時間変化を示したものである。左右の図を比較すると、円環対球の情報量の立ち上がりは、円環対円筒の情報量の立ち上がり時刻に比べて 100 ms 程度遅れていることがわかるが、このことは、視覚的・形状の分析

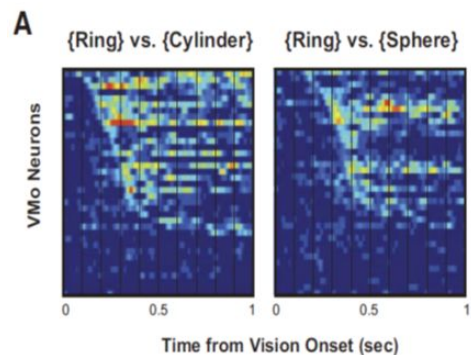


図3 分類による情報量の立ち上がりの違い

において、すべての視覚的特徴の処理が同時に進むのではなく、特徴ごとに異なる時間特性をもって進むことを示唆している。

このように、本研究では、すでに得られている電気生理学データに対して情報量解析の手法を適用することにより、視覚運動変換過程における情報処理の動的な変化について新たな知見を得ることができた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計12件)

1. Inoue, Y. & Sakaguchi, Y.: Periodic change in phase relationship between target and hand motion during visuo-manual tracking task: Behavioral evidence for intermittent control, *Human Movement Science*, 33, 211-226 (2014) doi: 10.1016/j.humov.2013.10.002 査読有
2. Sakaguchi, Y.: Intermittent brain motor control observed in continuous tracking task, *Advances in Cognitive Neurodynamics*, 3, 461-468(2013) doi: 10.1007/978-94-007-4792-0\_62 査読有
3. Carpaneto, J., Raos, V., Umilta, MA., Fogassi, L., Murata, A., Gallese, V. & Micera, S.: Continuous decoding of grasping tasks for a prospective implantable cortical neuroprosthesis, *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9:84 (2012) doi:10.1186/1743-0003-9-84 査読有
4. Carpaneto, J., Umilta, MA., Fogassi, L., Murata, A., Gallese, V., Micera, S. & Raos, V.: Decoding the activity of grasping neurons recorded from the ventral premotor area F5 of the macaque monkey, *Neuroscience*, 188, 80-94 (2011) doi: 10.1016/j.neuroscience.2011.04.062 査読有
5. 村田 哲: 身体意識とミラーニューロン, *Clinical Neuroscience*, 29, 909-918 (2011) 査読無
6. Naruse, Y., Takiyama, K., Okada, M. & Murata, T.: Inference in alpha rhythm phase and amplitude modeled on Markov random field using belief propagation from electroencephalograms, *Physical Review E*, 82, 011912 (2010) doi: 10.1103/PhysRevE.82.011912 査読有
7. Ishida, H., Nakajima, K., Inase M. & Murata, A.: Shared mapping of own and others' bodies in visuotactile bimodal area of monkey parietal cortex, *Cognitive Neuroscience*, 22, 83-96 (2010) doi: 10.1162/jocn.2009.21185 査読有
8. Sakaguchi, Y., Ishida, F., Shimizu, T. & Murata, A.: Time course of information representation of macaque AIP neurons in hand manipulation task revealed by information analysis, *Journal of Neurophysiology* (2010) doi: 10.1152/jn.00125.2010 査読有
9. Ishida, H., Nakajima, K., Inase, M. & Murata, A.: Shared mapping of own and others' bodies in visuotactile bimodal area of monkey parietal cortex, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 83-96 (2009)

doi: 10.1162/jocn.2009.21185 査読有

10. Ishida, F., Sasaki, T., Sakaguchi, Y. & Shimai, H.: Reinforcement-learning agents with different temperature parameters explain the variety of human action-selection behavior in a Markov decision process task, *Neurocomputing*, 72, 1979-1984 (2009) doi: 10.1016/j.neucom.2008.04.009 査読有 [学会発表](計50件)
1. Miyashita, E. & Sakaguchi, Y.: Suggestive evidence for a forward model of the arm in the monkey motor cortex, *IEEE 13th Int. Workshop on AMC*, 2014/3/14, Yokohama. 査読有
2. Naruse, Y., Takiyama, K., Okada, M. & Umehara, H.: Evaluation of the amount of phase shift in the alpha rhythm, *43rd Ann. Meeting of SFN*, 2013/11/9, San Diego (USA) 査読無
3. Miyashita, E.: Analyzing a hand movement and gazes to find whether a monkey sets via point in a free curve drawing, *43rd Ann. Meeting of SFN*, 2013/11/9, San Diego (USA) 査読無
4. Sakaguchi, Y., Tanaka, M. & Inoue, Y.: A computational model explaining intermittent motor behavior observed in continuous tracking task, *ICCN2013*, 2013/6/23, Sigtuna (Sweden) 査読有
5. Inoue, Y. & Sakaguchi, Y.: Intermittency of human motor behavior in target tracking depends on predictability of target motion, *36th Ann. Meeting of JNS*, 2013/6/20, Kyoto. 査読無
6. 成瀬 康, 瀧山 健, 岡田真人, 梅原広明: 単一試行から波の位相シフトを抽出できる新手法を用いた視覚刺激に同期しない位相シフトの発見, 第28回日本生体磁気学会大会 2013/6/7, 新潟. 査読有
7. 井上康之, 阪口 豊: ウェーブレット解析を用いた運動間欠性の抽出手法の開発, 信学会 NC 研究会, 2013/3/13, 町田. 査読無
8. Miyashita, E.: Execution of motor control by the brain: regarding the primary motor cortex as a forward model, *25th Bioengineering Conf.*, 2013/1/9, Tsukuba. 査読有
9. Inoue, Y. & Sakaguchi, Y.: Mechanism of body operation in Japanese classical martial arts: Motion analysis of quiet standing and walking, *BPES2012*, 2012/9/19, Sapporo. 査読無
10. Nabe, T. & Miyashita, E.: Estimation of via-points during a monkey free drawing of a circle like closed curve, *35th Ann. Meeting of JNS*, 2012/9/18, Nagoya. 査読無
11. Sakaguchi, Y. & Inoue, Y.: Temporal relationship between eye and hand movements during visuo-manual tracking task, *Dynamic Brain Forum 2012*, 2012/9/3, Carmona (Spain) 査読無
12. Maeda, K. & Murata, A.: Neural activity in area AIP/PFG related to visual feedback during hand manipulation, *Mirror neurons new*

- frontiers 20 years after their discovery, 2012/8/31, Italy. 査読無
13. Naruse, Y., Takiyama, K., Okada, M. & Umehara, H.: A novel method for detection of phase shift of alpha rhythm in single trial, 18th Int. Conf. on Biomagnetism, 2012/8/26, Paris (France) 査読有
14. 井上康之, 阪口 豊: 連続的な手動追従課題の遂行時における眼球運動の協調的な振る舞い, 第6回 MC 研究会, 2012/6/21, 岡崎. 査読無
15. 鍋 知宏, 宮下英三: 目は口ほどにものを言う: サッカーから運動の分節化を探る, 第6回 Motor Control 研究会, 2012/1/22, 岡崎. 査読無
16. Inoue, Y. & Sakaguchi, Y.: Intermittency in visual information acquisition in continuous tracking task, Ann. Meeting of NCM, 2012/4/22, Venice (Italy) 査読無
17. 成瀬 康, 瀧山 健, 岡田真人, 梅原広明: 単一試行から 波の位相変化を抽出できる新しい手法の定量評価, 第27回日本生体磁気学会大会, 2012/3/31, 東京. 査読無
18. 宮下英三: M1 と PMdc の速度に関連した神経細胞活動を推定した状態として捉える, 第89回日本生理学会大会, 2012/3/29, 松本. 査読無
19. 村田 哲, Shein, N.W., 酒田英夫: 頭頂連合野における操作対象の物体内相対的位置表現, 第89回日本生理学会大会, 2012/3/29, 松本. 査読無
20. 田中雅人, 浅野哲理, 阪口 豊: 目標追従運動の間欠的制御モデル, 信学会 NC 研究会, 2012/3/14, 町田. 査読無
21. 井上康之, 阪口 豊: ヒトの予測的な運動制御における視覚情報の効果, 信学会 NC 研究会, 2012/3/14, 町田. 査読無
22. Sakaguchi, Y.: Detecting intermittency in arm movement using AR model, Ann. Meeting of JNNS2011, 2011/12/15, Okinawa. 査読有
23. Naruse, Y., Takiyama, K., Okada, M. & Umehara, H.: A novel method for estimating instantaneous phase and amplitude of ongoing oscillations and detecting phase modulation, 41st Ann. Meeting of SFN, 2011/11/12, Washington, D.C. (USA) 査読無
24. Sakaguchi, Y.: Intermittent motor control observed in visuo-manual tracking, Neuro2011, 2011/9/14, Yokohama. 査読無
25. 成瀬 康, 瀧山 健, 岡田真人, 村田 勉: 自発的周期における位相変調を単一試行から抽出する新しい手法, Neuro2011, 2011/9/14, 横浜. 査読無
26. 成瀬 康, 瀧山 健, 岡田真人, 梅原広明: 視覚刺激によるアルファ波位相変調の検出, 信学会 NC 研究会, 2011/7/25, 神戸. 査読無
27. 阪口 豊: 連続的目標追従運動においてみられる運動制御の間欠性, 第5回 MC 研究会, 2011/6/16, 岡崎. 査読無
28. Sakaguchi, Y.: Intermittent brain motor control observed in continuous tracking task, ICCN2011, 2011/6/9, Niseko. 査読無
29. Asano, T., Izawa, J. & Sakaguchi, Y.: Intermittent update of target representation during manual tracking task, ICCN2011, 2011/6/9, Niseko. 査読無
30. Naruse, Y., Takiyama, K., Okada, M. & Murata, T.: Exact inference method for Markov random field models of instantaneous phase and amplitude of oscillatory activities from electroencephalograms, Neuro2010, 2010/9/2, Kobe. 査読無
31. 成瀬 康, 瀧山 健, 岡田真人, 村田 勉: マルコフ確率場モデルにおける確率伝播法をもちいた  $\alpha$  波位相, 振幅の同時推定, 信学会 NC 研究会, 2010/3/10, 町田. 査読無
32. 田中雅人, 井上康之, 阪口 豊: モデル予測制御に基づくヒトの目標追従運動の間欠的制御モデル, 信学会 NC 研究会, 2013/3/13, 町田. 査読無
33. Murata, A., Ishida, H., Nakajima, K. & Inase, M.: Other's body representation referred to self-body in the parietal cortex of the monkey, 36th Int. Congress of Physiol. Sci., 2009/7/28, Kyoto. 査読無
34. 石田文彦, 村田 哲, 阪口 豊: サル F5-AIP 野における手操作関連神経活動の情報量解析, 第3回 MC 研究会, 2009/5/29, 岡崎. 査読無 [図書] (計2件)
1. 村田 哲: 模倣の神経科学, ロボット情報学ハンドブック (8.2 節) 487-551, ナノオプトニクスエナジー (2010)
2. 村田 哲: 脳内の身体, 環境適応—内部表現と予測のメカニズム (第3巻5章), 151 - 176, オーム社 (2010)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
阪口 豊 (SAKAGUCHI Yutaka)  
 電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授  
 研究者番号: 40205737
- (2) 研究分担者  
宮下 英三 (MIYASHITA Eizo)  
 東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授  
 研究者番号: 00182014  
石田 文彦 (ISHIDA Fumihiko)  
 富山高等工業専門学校・専攻科・准教授  
 研究者番号: 20345432  
 (平成 22-24 年度の3年間のみ参画)  
成瀬 康 (NARUSE Yasushi)  
 情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター・副室長  
 研究者番号: 00455453
- (3) 連携研究者  
村田 哲 (MURATA Akira)  
 近畿大学・医学部・准教授  
 研究者番号: 60246890